

智能蚂蚁算法——蚁群算法的改进

曹浪财, 罗 键, 李天成

(厦门大学 自动化系, 福建 厦门 361005)

摘 要: 蚁群算法是一种解决组合优化问题的有效算法。在蚁群算法的基础上, 提出了一种新的启发式搜索方法——智能蚂蚁算法。智能蚂蚁算法与蚁群算法相比, 主要在以下四点进行了改进: 第一, 取消了外激素; 第二, 自动调整选择最优路径的比例; 第三, 目标城市的选择方法不同; 第四, 引入扰动以避免陷入局部优化。实验结果表明, 智能蚂蚁算法可以在减少计算量的同时, 取得更好的搜索结果。

关键词: 智能蚂蚁算法; 蚁群算法; 旅行商问题(TSP); 外激素

中图法分类号: TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1001-3695(2003)10-0062-03

Intelligent Ant System: An Improved Algorithm over ACS

CAO Lang-cai, LUO Jian, LI Tian-cheng

(Dept. of Automation, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005, China)

Abstract: Ant Colony System(ACS) is an effective algorithm to solve combinatorial problems such as TSPs. Based on ACS, a new algorithm, Intelligent Ant System(IAS), is designed to improve the performance. There are four new characters in IAS. The first is eliminating pheromone, which occupied much CPU time. The second is to adjust proportion of choosing the city in best route. The third is new criterion in determining which city to visit. The last is the introduction of disturbance to avoid local optimization. The experimental results verify the effectiveness of the new algorithm.

Key words: IAS; ACS; TSP; Pheromone

1 蚂蚁算法

蚂蚁算法作为一种新的仿生类进化算法是由 Dorigo 首先提出的, 该算法模仿蚂蚁觅食时的行为, 按照启发式思想, 通过信息传媒——外激素(Pheromone)的诱发作用, 逐渐收敛到问题的全局最优解。蚂蚁算法自问世以来表现出了强大的生命力, 较之以前的启发式不论在搜索效率上, 还是在算法的时间复杂度方面都取得了令人满意的效果。该算法已被其它领域的专家所接受, 并运用到诸如分类、任务分配、机器人合作规划、图着色、车辆调度、大规模集成电路设计、通信网络中的负载均衡等许多方面^[1]。旅行商问题(TSP)是研究最为广泛的组合优化问题之一, 可定义如下:

定义 1 给定 n 个节点 c_1, c_2, \dots, c_n , 从节点 i 到 j 的费用为 t_{ij} 。假设有一个旅行推销员, 需要到所有城市推销商品, 并最终回到出发点。旅行商问题, 就是要找到一条路线, 使得旅行费用总和最低。

根据蚂蚁寻找事物的原理, 意大利学者 Marco Dorigo 发明了求解旅行商问题的蚂蚁算法。实验证明, 其性能比通用的搜索算法(如进化算法、模拟退火算法等)优越。其算法如下: (1) 初始化各个城市(点)之间的道路(边), 即将所有边的外激素水平赋一个初值; (2) 将若干

只蚂蚁随机地放在不同的城市中; (3) 每只蚂蚁根据各条边的外激素水平和距离, 选择下一个城市; (4) 所有蚂蚁完成周游后更新外激素水平: 所有边的外激素水平按一定比例减少(挥发性); 蚂蚁经过次数多的边, 其外激素水平增加较多(分泌外激素); 判断是否产生新的最优路线, 如果是, 则记录到全局变量中; (5) 返回(2)循环直至满足退出条件。

2 蚁群算法

2.1 蚁群算法

蚂蚁算法具有并行性、正反馈、健壮性等特点, 且搜索过程不需要人工干预, 在解决小规模($n < 30$)的旅行商问题时效果显著。

但对于规模较大的问题, 其性能迅速恶化。主要原因是, 算法的初始阶段, 各条道路上的外激素水平基本相等, 蚂蚁的搜索呈现出较大的盲目性。只有经过较长时间后, 外激素水平才呈现出明显的指导作用。另外, 由于蚂蚁算法是一种正反馈算法, 在算法速度收敛较快的同时, 也容易陷入局部优化。

由于蚂蚁算法的上述不足, 导致其在处理大规模旅行商问题时性能下降明显。为了解决大规模旅行商问题, 1996 年, Marco Dorigo 提出了蚁群算法。蚁群算法的改进主要有三点: 蚂蚁选择目标城市的方法; 外激素的全局更新; 外激素的局部更新。

收稿日期: 2002-11-02; 修返日期: 2002-12-21

2.2 蚁群算法分析

除了蚁群算法外,还有另一类改进算法——最值蚂蚁算法。这两种算法的主要思想是一致的,即一方面加强正反馈的效果,提高蚂蚁的搜索效率;另一方面,采用一定措施,减小陷入局部优化的可能性。

虽然在所有蚁群算法的文章中都把外激素的局部更新作为其算法的特征之一,但通过实验发现,其作用是有限的。由于外激素的全局更新作用,在经过几次搜索以后,所有属于最佳路径的边,其外激素水平远远高于其它边(相差一个数量级)。因此,外激素的局部更新作用不能有效地阻止搜索陷入局部最优化。另外,由于外激素的局部更新在每一步搜索之后都要进行,因此,消耗了大量的计算时间。

蚁群算法的另一不足是,许多参数的设置凭借经验,没有充足的依据。另外,蚂蚁数量的设定往往依赖于实验结果进行调整。因此,应用蚁群算法求解旅行商问题时,需先进行实验,根据结果调整参数,然后再进行搜索。但这不利于算法的广泛应用。

3 智能蚂蚁算法

通过对蚁群算法的改进,我们提出了智能蚂蚁算法。智能蚂蚁算法对蚁群算法的改进主要体现在以下四个方面:(1)取消外激素;(2)自动调整选择最优路径的比例;(3)改变了选择目标城市的依据;(4)引入扰动。

3.1 取消外激素

外激素是蚁群算法中蚂蚁实现通信的媒介,指导蚂蚁的前进方向。但是,由于蚂蚁的每一步运动都要更新外激素,要占用大量的 CPU 时间。通过对蚁群算法的考察可以发现,由于局部更新的作用,除最优路径外的所有边,其外激素水平相差无几。而最优路径与其它路径的外激素水平则差异巨大。这在搜索的后期尤其明显。因此,如果取消外激素,即以 q_0 的比例选择最优路径,以 $1-q_0$ 的比例选择其它路径,可以大量减少计算,同时搜索的性能不会有太大的变化。实际上,在智能蚂蚁系统中,有两个比例参数 q_g 和 q_i ,分别代表选择全局最优路径和上次迭代搜索中最优路径的比例($q_g + q_i < 1$)。通过引进 q_i ,蚂蚁的搜索范围不局限于全局最优路径的周围,这样,可以避免重复搜索,也就达到了蚁群算法中局部更新的目的。

3.2 自动调节选择最优路径的比例

定义 2 相对距离,给定两条周游路线 t_1, t_2 , t_1 相对 t_2 的距离为:所有属于 t_1 而不属于 t_2 的边的数量。 t 的相对距离定义为 t 与最优路径的相对距离。

蚂蚁搜索过程中,相对距离的大小对搜索结果的好坏起着至关重要的作用。相对距离太小,会出现搜索停滞现象;相对距离太大,则不容易产生改进的搜索结果。为取得好的搜索效果,在智能蚂蚁系统中,采取自动调节比例参数的做法,使相对距离保持在一个适宜的范围,从而保证搜索的有效性。

在智能蚂蚁系统中, q_i 为常数, q_g 则从 0 逐渐增大。假设相对距离与 $(1-q_g-q_i)$ 近似成正比,则有

$$(1-q_g-q_i) / (1-q_g-q_i) = d / d \quad (1)$$

其中, q_g 是新的 q_g 值, d 是最佳距离, d 是已完成的迭代搜索中的相对距离。

由于相对距离与 $(1-q_g-q_i)$ 实际上并不成正比关系,反映在实验结果中,就是按照式(1)计算的 q_g 容易使相对距离在最佳距离周围震荡。为减少震荡,将 q_g 改为

$$q_g - \text{new} = (q_g + q_g) / 2 \quad (2)$$

式(3)的方法可以收到一举多得的效果:第一,可以减小相对距离的震荡现象;第二, q_g 逐渐上升,也就是 $(1-q_g-q_i)$ 逐渐减小,使得相对距离在搜索的开始阶段加大,有利于减少陷入局部最优^[4];第三,使得搜索初期蚂蚁选择迭代最优路径的可能性加大,减少了陷入局部最优路径的可能性^[4]。

在智能蚂蚁系统中,在经过等于城市数目的迭代搜索后,进行比例参数的调整。比例参数的调整进行 10 次,一般就可以得到合适的 q_g 值。

3.3 选择目标城市的依据

$$P_k(r, s) = \begin{cases} q_g(r, s) & \text{是全局最优路径中的边} \\ q_i(r, s) & \text{是上次搜索中的最优路径的边} \\ d(r, s) / d(r, u) & \end{cases} \quad (3)$$

式(3)中, s, u 是还未访问的城市, $d(r, u) = 1 / ((r, u) - \min((r, t) + \text{len} / n / 100))$, (r, u) 是从城市 r 到城市 u 的距离, $\min((r, t))$ 是从城市 r 到最近的城市的距离, len 是周游路线的长度, n 是城市的数量。 $d(r, u)$ 的选择使得蚂蚁以更大的概率选择距离短的城市。

3.4 引入扰动

尽管采取多种措施,局部最优往往还是难以避免。在智能蚂蚁系统中,通过扰动的引入使搜索跳出局部最优。

定义 3 无效搜索次数,当前的搜索次数与最近一次改进了结果的搜索次数的差值,定义为无效搜索次数。

在智能蚂蚁系统中,引入扰动的标准为:

$$\text{iter_inv} = 2 \cdot \text{iter_lst} + 10000 \quad (4)$$

式(4)中, iter_inv 是无效搜索次数, iter_lst 是最近一次改进结果的搜索经过的迭代次数。

引入扰动的方法是把 q_g 和 q_i 都减半。在所有蚂蚁都完成一次搜索后,选取其中结果最好的作为全局最优路径和结果,恢复 q_g 和 q_i 的值。

4 参数设定及结果

参数的设定很大程度上依据实验观察的结果。从结果看, q_i 取 0.5, 相对距离取 5 的参数设置在所有问题中都可以得到比较满意的搜索结果。因此,以下的实验结果均按照这两个参数设定进行。

另外,为提高搜索效率,智能蚂蚁系统采用了文献[1]中的候选列表的方法,即在蚂蚁选择下一个城市时,首先考虑与当前城市距离最近的 15 个城市,只有这 15 个城市都已经访问过,才考虑其它城市。

旅行商问题取自文献[3],蚁群系统的搜索结果取自文献[5],MMAS + pts 的搜索结果取自文献[4]。三种算法的搜索次数都是城市数目 $\times 10000$,其中,蚁群系统和智能蚂蚁系统每次循环使用 10 只蚂蚁,而 MMAS 中蚂蚁数目等于城市数量。

从表 1 可以看出,智能蚂蚁的搜索结果是令人满意的(最好的结果用黑体字显示)。

表 2 是两种算法中,完成一次搜索所需 CPU 时钟周期数的比较。可以看出,智能蚂蚁系统所需的时间更短,这主要是由于智能蚂蚁系统中,不需要计算外激素信息,从而节省了大量的计算。可见,智能蚂蚁算法是对蚁群算法的显著改进。

表 1 智能蚂蚁算法搜索结果

旅行商问题	蚁群系统		MMAS+pts		智能蚂蚁系统		最优值
	平均值	最优值	平均值	最优值	平均值	最优值	
eil51	428.06	426	427.1	-	426.5	426	426
kroA100	21420	21282	21291.6	-	21295.6	21282	21282
d198	16054	15888	15956.8	-	15824.1	15789	15780

表 2 智能蚂蚁算法运行时间

旅行商问题	蚁群系统	智能蚂蚁系统
eil51	2.1 × 10 ⁵	3.6 × 10 ⁴
kroA100	5.5 × 10 ⁵	6.3 × 10 ⁴
d198	1.1 × 10 ⁶	1.2 × 10 ⁵

5 结束语

本文在蚁群算法的基础上,提出了一种新的启发式搜索算法——智能蚂蚁系统。智能蚂蚁系统通过对蚁群算法的改进,在减少计算量的同时,取得了令人满意的搜索结果。实验结果表明,智能蚂蚁系统是解决旅行

商问题的一种有效算法。

参考文献:

- [1] Marco Dorigo, Luca Maria Gambardella. Ant Colony System: A Cooperative Learning Approach to the Traveling Salesman Problem[J]. IEEE Transaction on Evolutionary Computation, 1997, 1 (4).
- [2] E L Lawler J K Lenstra, A H G Rinnooy Kan, et al. The Traveling Salesman Problem[J]. John Wiley & Sons, 1985.
- [3] TSP LIB [EB/OL]. <http://www.iwr.uni-heidelberg.de/iwr/comopt/soft/TSP LIB95/TSP LIB.html>.
- [4] Thomas St üle, Holger H Hoos. MAX-MIN Ant System[EB/OL]. <http://www.researchindex.com>, 1997.
- [5] Luca Maria Gambardella, Marco Dorigo. Solving Symmetric and Assymmetric TSPs by Ant. Colonies [C]. IEEE Conference on Evolutionary Computation, IEC 96.
- [6] Marco Dorigo, Vittorio Maniezzo, Alberto Coloni. Ant System: Optimization by a Colony of Cooperating Agents[J]. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, 1996.
- [7] Cay S Horstmann, et al. Java2 核心技术(卷二):高级特性[M]. Prentice Hall. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [8] 傅荣. 多智能体协同推理研究[D]. 厦门大学自动化系研究生学位论文, 2000.

作者简介:

曹浪财(1970-),男,硕士研究生,研究方向主要为 ERP、管理信息系统,XML;罗键(1954-),男,教授,主要研究方向为管理信息系统、决策支持系统、ERP等;李天成(1975-),男,硕士,主要研究方向为管理信息系统、人工智能。

(上接第 49 页) query _ result query _ data (in input _ rule _ list
a _ input _ rule _ list in long sort _ by _ number);
};};

(2) 清单 2 PCDATA.DTD 主要描述了一种 PC 计算机的 DTD, 主要包含 PC 的名称:NAME、型号:TYPE、生产公司:COMPANY、价格:PRICE 等数据。清单 2 如下:

```
<! ELEMENT PCDATA(PC+) >
<! ELEMENT PC (NAME TYPE COMPANY DATE PRICE URL >
<! ELEMENT NAME (# PCDATA) >
<! ELEMENT TYPE (# PCDATA) >
<! ELEMENT COMPANY (# PCDATA) >
<! ELEMENT DATE (# PCDATA) >
<! ELEMENT PRICE (# PCDATA) >
<! ELEMENT URL (# PCDATA) >
```

(3) 清单 3 PC.XML 依据 PCDATA.DTD 的数据所生成的 XML 文件。

```
< ? XML VERSION = 1.0 ? >
<! DOCTYPE PCDATA SYSTEM
http://menth.ssc.tyhtml.edu.cn >
<PCDATA>
<P _ COMPUTER>
<COMPANY> IBM </COMPANY>
<TYPE> PIII9333 </TYPE>
<PRICE> 10500 </PRICE>
<URL> http://menth.ssc.tyhtml.edu.cn </URL>
</P _ COMPUTER>
<P _ COMPUTER>
<COMPANY> HP </COMPANY>
<TYPE> PIII966 </TYPE>
<PRICE> 10000 </PRICE>
<URL> http://menth1.ssc.tyhtml.edu.cn </URL>
</P _ COMPUTER>
</PCDATA>
```

服务器中的服务对象 Server Object 收到客户端通过 QBE-like 界面输入的查询条件后,就对其进行解析,并依据 XML 文件的数目产生相同数目的 XML _ method。每个 XML _ method 方法分别去解析对应的 XML.DTD 文件,然后将其与解析后的查询条件进行比较,若符合条件就

将其放在一个所有 XML _ method 方法公用的二维矩阵中,服务器 Server 就会确认是否对所有的 XML _ method 都进行过对比选择,最后将这个二维矩阵依据用户所指定的条件排序,返回客户端 Client,完成对 XML 文件信息的集成访问。

5 结束语

采用 CORBA 技术,在分布式网络计算环境下,实现对各种异构数据信息的集成访问。提出了一种基于 CORBA/ Web 的数据库集成访问体系结构,分析了对象数据库、关系数据库、XML 文件数据信息的对象化封装,并针对不同的异构数据信息,设计其基于 CORBA/Java 转换程序 Wrapper,完成客户机对异构信息的访问。最后给出了一个 XML 文件的详细实现方法。

参考文献:

- [1] <http://www.omg.org/corba/corbaiop> [EB/OL].
- [2] W3C. Document Object Model Level 1 Specification [EB/OL]. <http://www.w3.org/tr/rec-domr-level-1>.
- [3] Meltzer B, Gushko R. XML and Electronic Commerce: Enabling the Network Economy[Z]. SIGMOD Record, 1998, 27.
- [4] Wells D. Wrappers [EB/OL]. <http://www.objs.com/wrap.htm>, 1996.
- [5] [日]Drik Slama, [美]Jason Gurbis, [澳]Perry Russell. CORBA 企业解决方案[M]. 北京:机械工业出版社, 2001.
- [6] The Common Object Request Broker Architecture and Specification Editorial Revision: CORBA 2.4.2: February 2001; Editorial Revision: CORBA 2.4.1: November 2000; Revision 2.4: October 2000[R].

作者简介:

郭银章(1969-),男,讲师,在读研究生,主要研究方向为计算机网络技术与分布式网络计算;徐玉斌(1964-),男,副教授,硕士,主要研究方向为计算机监控与调度;曾建潮(1963-),男,教授,博士,主要研究方向为系统仿真、智能计算、网络计算。